

Efecto de la contaminación sobre sistemas biológicos

Bioindicadores

Tema 9: Bioindicadores edáficos

Caracterización del suelo

- Es un sistema abierto, natural, constantemente variable en el espacio y a través del tiempo
- Hoja de ruta
 - Degradación y contaminación del suelo
 - Bioindicadores edáficos

Degradación del suelo

Importancia de la Degradación

- Esta reside en de la importancia del objeto que deteriora: el SUELO

- ➡ principal sustrato donde se producen alimentos, forrajes y fibras textiles
- ➡ Principal destino de residuos: FILTRO
- ➡ frágil, de fácil degradación pero de difícil y larga recuperación
- ➡ de extensión limitada, por lo que se considera como recurso no renovable
- ➡ concepto antiguo pero extremado por la demanda de alimentos

Causas de la degradación

Por orden de importancia:

- ü Deforestación y explotación de bosques
- ü Sobrepastoreo
- ü Manejo inadecuado de prácticas agrícolas
- ü Sobreexplotación de la vegetación
- ü Actividades industriales

Evaluación de la degradación

Enfoques de estudio

- ü **Estado actual del suelo.** Representa la valoración de cuan degradado se encuentra el suelo
- ü **Intensidad de la degradación actual.** Se expresa como una velocidad anual
- ü **Riesgo de degradación.** Es el riesgo de que ocurra degradación en ciertas condiciones adversas definidas. Se consideran sólo los factores estables (Clima, suelo y relieve)

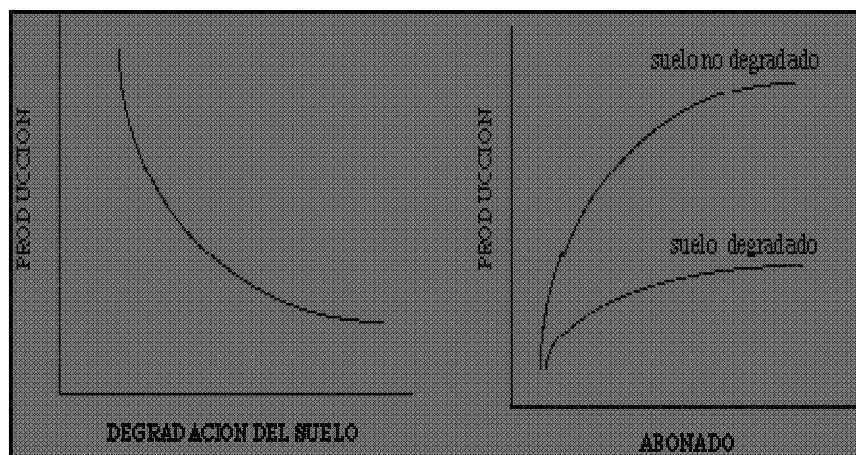
Degradación del suelo

- Tipos de degradación

- 1) **Degradación de la fertilidad.** Es la disminución de la capacidad del suelo para soportar vida vegetal

Se producen modificaciones en sus propiedades físicas, químicas, fisicoquímicas y biológicas que conllevan a su deterioro.

1) Degradación de la fertilidad



Degradación de la fertilidad

- **Degradación química:**
 - Pérdida de nutrientes
 - Acidificación
 - Salinización – sodificación
 - Aumento de la toxicidad por liberación o concentración de determinados elementos químicos
- **Degradación física:**
 - Pérdida de la estructura
 - Aumento de la densidad aparente
 - Disminución de la permeabilidad
- **Degradación biológica:**
 - Disminución de la materia orgánica
 - Disminución de la biodiversidad del suelo

Degradación del suelo

2) Erosión

- Pérdida selectiva de materiales por acción del agua (hídrica) o del viento (eólica)
- Se refiere a aquella causada/acelerada por causas antrópicas
- La erosión natural es lenta y presenta aspectos beneficiosos

Degradación del suelo

3) Contaminación

- Degradación química que provoca la pérdida parcial o total de la productividad del suelo (FAO)
- Alteración de la pureza de alguna cosa, como los alimentos, el agua, el suelo, etc. (Real Academia Española)
- Aparición de una nueva sustancia en un sistema natural o al aumento de la concentración de una sustancia del sistema **superando las variaciones típicas y naturales**
- Acumulación antropogénica de sustancias a niveles tales que repercuten negativamente en el comportamiento y calidad de los suelos

Contaminación natural

- Un ejemplo es el proceso de concentración y toxicidad que muestran determinados elementos metálicos (Al, Cr, Mn), presentes en los minerales originales de algunas rocas, a medida que el suelo evoluciona.
- Se detecta luego de un intenso lavado de cationes
- Se manifiesta a partir de un cierto grado de evolución edáfica, y por tanto es máxima en condiciones tropicales húmedas



Contaminación natural vs antrópica



Importancia de la Degradación

HUMAN-INDUCED SOIL DEGRADATION FOR THE WORLD

Type	Light (Mha)	Moderate (Mha)	Strong (Mha)	Extreme (Mha)	Total (Mha)	Total (%)
Loss of topsoil	301.2	454.5	161.2	3.8	920.3	
Terrain deformation	42.0	72.2	56.0	2.8	173.3	
TOTAL WATER	343.2	526.7	217.2	6.6	1093.7	55.7
Loss of nutrients	230.5	213.5	9.4	0.9	454.2	
Terrain deformation	36.1	30.0	14.4	-	82.5	
Overblowing	-	10.1	0.5	1.0	11.6	
TOTAL WIND	268.6	253.6	24.3	1.9	548.3	27.9
Loss of nutrients	52.4	63.1	19.8	-	135.3	
Salinisation	34.8	20.4	20.3	0.8	76.3	
Pollution	4.1	17.1	0.5	-	21.8	1.2
Acidification	1.7	2.7	1.3	-	5.7	
TOTAL CHEMICAL	93.0	103.3	41.9	0.8	239.1	12.2
Compaction	34.8	22.1	11.3	-	68.2	
Waterlogging	6.0	3.7	0.8	-	10.5	
Subsidence of organic soils	5.4	1.0	0.2	-	4.6	
TOTAL PHYSICAL	44.2	26.8	12.3	-	83.3	4.2
Total (Mha)	749.0	910.5	295.7	9.3	1964.4	
Total (percent)	38.1	46.1	15.1	0.5		100

Total cultivated land of the world 1701Mha (millones de hectáreas)

"Global Assessment of Soil Degradation", 1991, (GLASOD, FAO)

Evaluación de la Contaminación

- Definición de máximos niveles admisibles
- Análisis de los posibles factores que puedan influir en la respuesta del suelo a los agentes contaminantes:
 - movilidad
 - biodisponibilidad
 - persistencia
 - carga crítica
 - vulnerabilidad
 - poder de amortiguación

Vulnerabilidad

- Grado de sensibilidad (o debilidad) del suelo frente a la agresión de los agentes contaminantes; relacionado al poder de amortiguación.
- Permite diferenciar los riesgos potenciales de diferentes actividades o predecir las consecuencias de la continuación en las condiciones actuales.
- Resulta difícil obtener los grados de sensibilidad de los suelos frente a un determinado tipo de impacto, debido a la fuerte heterogeneidad de los suelos

Poder de amortiguación

- El conjunto de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo lo hacen un reactor complejo, capaz de realizar funciones de filtración, descomposición, neutralización, inactivación, almacenamiento, etc
- Actúa como barrera protectora de otros medios más sensibles, como los hidrológicos y los biológicos
- La mayoría de los suelos presentan una elevada capacidad de **auto-depuración**.

Autodepuración y las propiedades del suelo

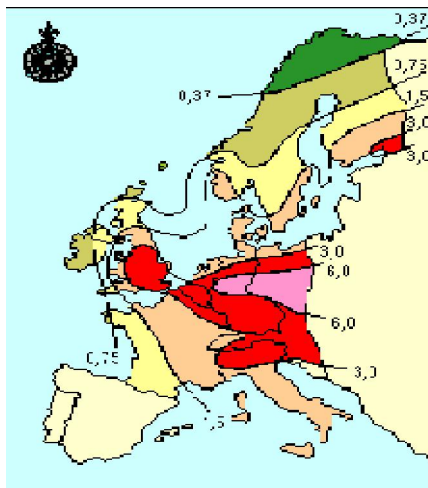
- El suelo puede considerarse como un sistema depurador porque es capaz de degradar o inmovilizar los contaminantes
- Esta beneficiosa acción se puede ejercer por varios mecanismos:
 - Ø Degradación biótica o abiótica
 - Ø Adsorción
 - Ø Complejización
 - Ø Insolubilización

Autodepuración y las propiedades del suelo

Características de los horizontes superficiales:

- 1) La actividad microbiológica, que facilita la descomposición e inmovilización de los contaminantes.
- 2) La arcilla y la materia orgánica que mediante reacciones físicoquímicas adsorben a los contaminantes y permiten su inmovilización o degradación.
- 3) Porosidad y permeabilidad. Facilitan la circulación de los contaminantes en el suelo y pueden eliminar rápidamente los contaminantes y traspasarlos a los niveles freáticos.
- 4) Eh. El ambiente oxidante aumenta el poder autodepurador al facilitar la actividad microbiana de descomposición.
- 5) pH. Por las condiciones que genera y los cationes que predomine. Depende de la naturaleza del contaminante.

Carga crítica y Poder de amortiguación



Suelos escandinavos:
Pobres en Ca y Mg y
temperaturas más frías,
que sufrieron primero los
efectos de la lluvia ácida

Poder de Amortiguación y
Actividad Microbiológica
Liberación o introducción de
contaminantes



El suelo tiene gran capacidad de
autodepuración, debido a su enorme
diversidad metabólica

Suelo como gran filtro

- Esto se debe a su inconmensurable diversidad específica y funcional
- **Whitman et al. 1998. "Prokaryotes: The Unseen Majority"**
 - Por lejos numéricamente dominantes (10^{30} , comparado a 10^9 humanos, 10^{17} termitas)

Diversidad microbiana

- Estimated overall extant species diversity (Allsopp, Colwell, and Hawksworth 1993)

<u>Tipo de organismo</u>	<u>Diversidad conocida</u>	<u>Diversidad Estimada</u>
Todos	1,4 millón	3 millones – > 1 billón
Vertebrados	45.000	50.000 (10% desconocido)
Insectos desc)	1 millón	10-100 millones (88-99%)
Hongos	69.000	>1 millón (95% desc)
Bacterias	3.800	concepto especie? 10.000 especies en 1 g de suelo HIPERDIVERSIDAD

Poder de amortiguación

- Cuando se alcanza el límite el suelo deja de ser eficaz e incluso puede funcionar como una "fuente" de sustancias peligrosas
- Un suelo contaminado es aquel que ha superado su capacidad de amortiguación para una o varias sustancias
- Se modifican sus equilibrios biogeoquímicos y aparecen cantidades anómalas de determinados componentes que originan modificaciones importantes en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo

Poder de amortiguación

- El suelo no puede asimilar, inmovilizar, inactivar y degradar todos los contaminantes que recibe y por ello, en un determinado momento, cuando se superan unos determinados umbrales, puede transferir los contaminantes a otros medios e incorporarlos en las cadenas tróficas
- Se produce entonces una situación no prevista que ha sido definida recientemente por algunos autores como "Bomba Química del Tiempo".

"Bomba Química del Tiempo"

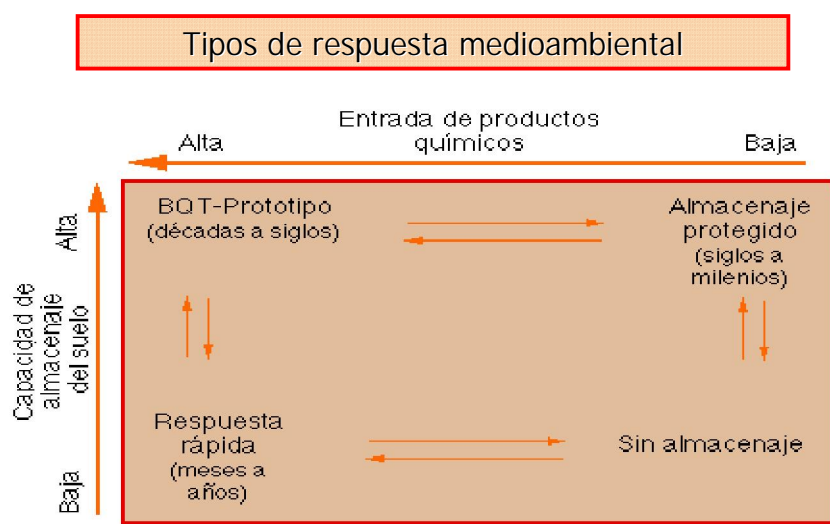
- Cadena de acontecimientos que resultan de la **retrasada y repentina** presencia de efectos perjudiciales causados por la **movilización o transformación** de compuestos químicos almacenados en los suelos
- El impacto medioambiental que se produce está relacionado con la cantidad y tipo de productos químicos liberados; a su vez esta cantidad es proporcional a la capacidad de almacenaje

Los suelos más peligrosos, en el sentido de BQT, son aquellos con alta capacidad para almacenar productos químicos perjudiciales

"Bomba Química del Tiempo"

- Un suelo que tiene una **baja capacidad de almacenaje** de un producto químico particular, manifestará un pequeño o ningún retraso de tiempo con respecto al tiempo de entrada y de salida del producto químico
- Los productos químicos, que provocan los sucesos BQT son las especies más resistentes a la descomposición química como **metales pesados y productos orgánicos persistentes**

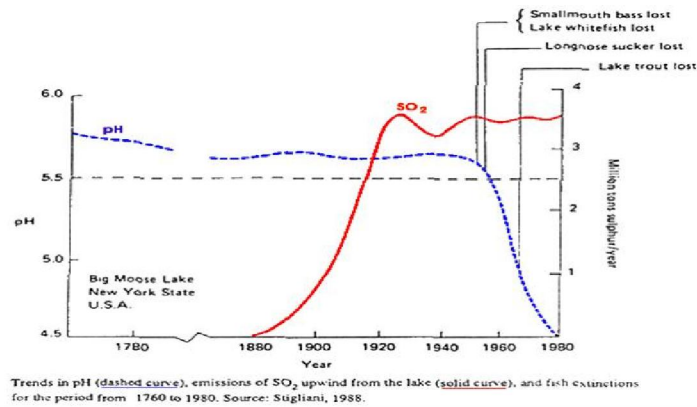
"Bomba Química del Tiempo"



"Bomba Química del Tiempo" Un caso práctico

Saturación de la capacidad tampón de los suelos de la
cuenca del lago.

El lago
Big
Moose
(NY, USA)



Agentes Contaminantes del Suelo

Proceden generalmente de la actuación
antropogénica del hombre

- **Metales pesados** en pequeñas dosis pueden ser beneficiosos para los organismos vivos y de hecho son utilizados como micronutrientes, pero pasado un umbral se convierten en elementos nocivos para la salud.

Agentes Contaminantes del Suelo

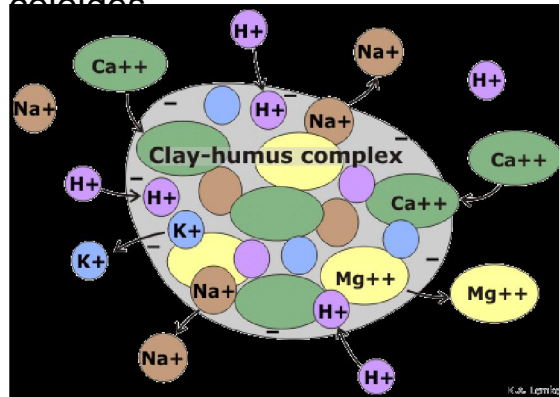
- **Emisiones ácidas atmosféricas:**
proceden generalmente de la industria, autos, abonos nitrogenados que sufren el proceso de nitrificación.
- Como consecuencia se disminuye el pH del suelo.
- Afecta principalmente al hemisferio norte

Concepto de carga crítica de acidez (CCA)

“Nivel máximo de compuestos acidificantes aportados, que no causan cambios químicos que perjudiquen a largo plazo la estructura y funcionamiento del mismo”.

Concepto de carga crítica de acidez (CCA)

- Está directamente relacionada, con su capacidad del cambio catiónica, estrechamente ligada a los coloides



www.uwsp.edu/.../11_cation_exchange_capacity.gif

Agentes Contaminantes del Suelo

Sales solubles

- **Utilización de agua de riego salina:** El mal uso del agua de riego provoca la **salinización** y la **sodificación** del suelo.
- En el primer caso se produce una acumulación de sales más solubles que el yeso donde el Ca y el Mg son los cationes dominantes: **SEQUIA**
- En el segundo caso se produce una acumulación de sodio intercambiable que tiene una acción dispersante: **DEGRADACION FISICA**

En cualquier caso requiere un drenaje impedido

Agentes Contaminantes del Suelo

Orígenes naturales de las sales en los suelos

- Pueden proceder directamente del material original
- Sales disueltas en las aguas de escorrentía
- Los suelos toman las sales a partir de mantos freáticos suficientemente superficiales (a menos de 3 metros)
- Sales de origen eólico, principalmente carbonatos, sulfatos y cloruros
- Contaminación directa del mar, a partir del nivel freático salino y por la contribución del viento

Agentes Contaminantes del Suelo

- **Fitosanitarios.** productos químicos sintéticos, sus efectos dependen tanto de las características de las moléculas orgánicas (mayoría de los plaguicidas) como de las características del suelo
- **Los más comunes son los herbicidas, los insecticidas y los funguicidas**

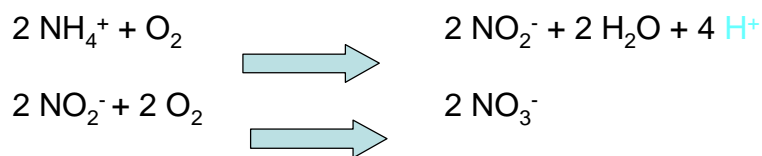
Agentes Contaminantes del Suelo

- **Fertilizantes.** Además de contener metales pesados, producen contaminación por fosfatos (eutrofización en lagos) y nitratos.

Ej: Suelos del cinturón hortícola de La Plata, hiperfertilizados con P

Agentes Contaminantes: Fertilizantes de base amonio

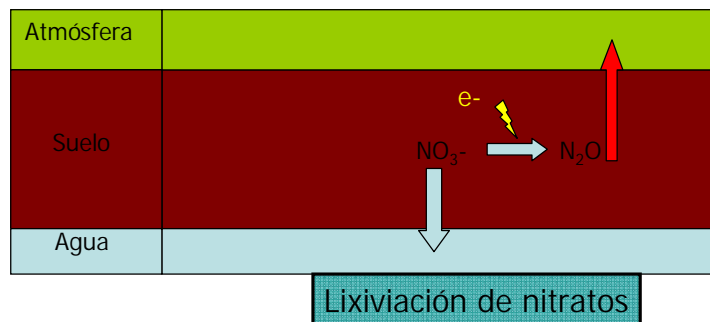
- Nitrificación : “Motor” de contaminación de suelos agrícolas:



La urea, el fertilizante nitrogenado más usado en el mundo, lleva a esta reacción luego de su hidrólisis

Suelo: Sistema Abierto

N_2O (óxido nitroso) es un GEI, con un potencial de calentamiento global 250 veces mayor al CO_2



Descontaminación de suelos contaminados

- Técnicas de aislamiento de la contaminación
- Técnicas de descontaminación

Técnicas de aislamiento de la contaminación

- La propia filosofía de estas técnicas las hace sólo recomendable en situaciones extremas
- Almacenados en vertederos apropiados: Sólo para volúmenes de suelo pequeños
- Sellado in situ: trata al suelo con un agente (cemento, cal, plásticos, arcilla, etc) que lo encapsula y lo aísla
- Destrucción total: Sometiendo al suelo a altas temperaturas (1600-2300^oC) se consigue su vitrificación con lo que se llegan a fundir los materiales del suelo
- Aislamiento directamente sobre los niveles de aguas freáticas. Se bombea el agua para deprimir el nivel freático

Técnicas de descontaminación

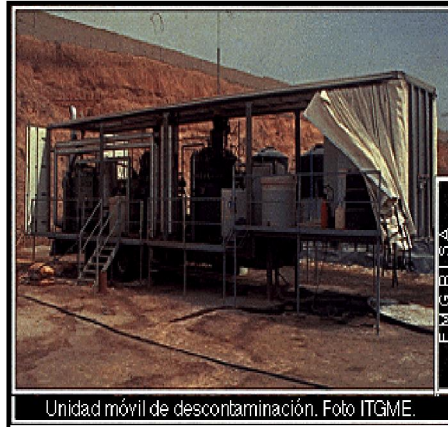
Los métodos se separan en 5 grandes grupos

- Extracción con fluidos
- Tratamiento químico
- Tratamiento electroquímico
- Tratamiento térmico
- Tratamiento microbiológico

Técnicas de descontaminación

En función de como se apliquen las técnicas depuradoras se habla de:

- Tratamientos in situ
- Tratamientos on site
- Tratamientos ex situ (off site)



Bioindicadores

Bioindicadores

“ Condiciones propias de los sistemas biológicos que se emplean para interpretar factores de su ambiente ”

SUELO



SISTEMA BIOLOGICO

Bioindicadores edáficos y de hábitats

De condiciones específicas

- De textura
- De salinidad
- De condiciones de pH
- De nutrientes del suelo
- De metales pesados

Bioindicadores edáficos y de hábitats

De la condición general del suelo

- Bioindicadores de la Calidad del suelo



- Surgen con la intensificación del uso de los suelos
- Ligado a la sustentabilidad productiva del suelo y a la biodiversidad

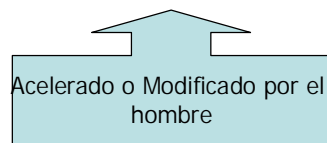
Bioindicadores edáficos de condiciones específicas

Variación de las condiciones

- Textura de un suelo: Varía muy lentamente, se considera constante

- Salinidad
- pH
- Dotación de nutrientes
- Metales

Varían con
mayor velocidad

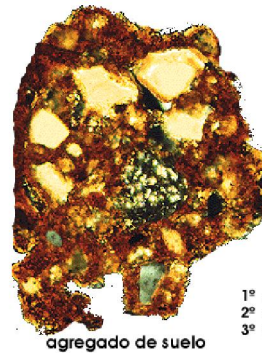
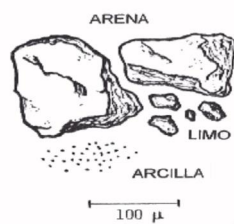


Acelerado o Modificado por el
hombre

Textura del Suelo

Proporción de los tamaños de partículas primarias del suelo:

- Arena ($> 53\mu\text{m}$)
- Limo ($>2\mu\text{m}$ y $<53\mu\text{m}$)
- Arcilla ($<2\mu\text{m}$)



1º desagregar
2º separar
3º cuantificar

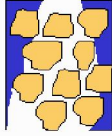
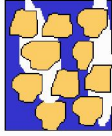
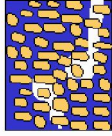



Indicadores de Textura

- El ejemplo más difundido son las plantas PSAMMOFILAS
- Estas especies están adaptadas a crecer en suelos con altos porcentajes de la fracción arena
- Las plantas psammófilas no sensan la arena *per se*, no existe comunicación química, sino que se adaptaron a las condiciones creadas por los altos niveles de arena
- *INDICADORAS DE DESERTIFICACION*

Plantas Psammófilas

Condiciones que crea un alto porcentaje de arena:

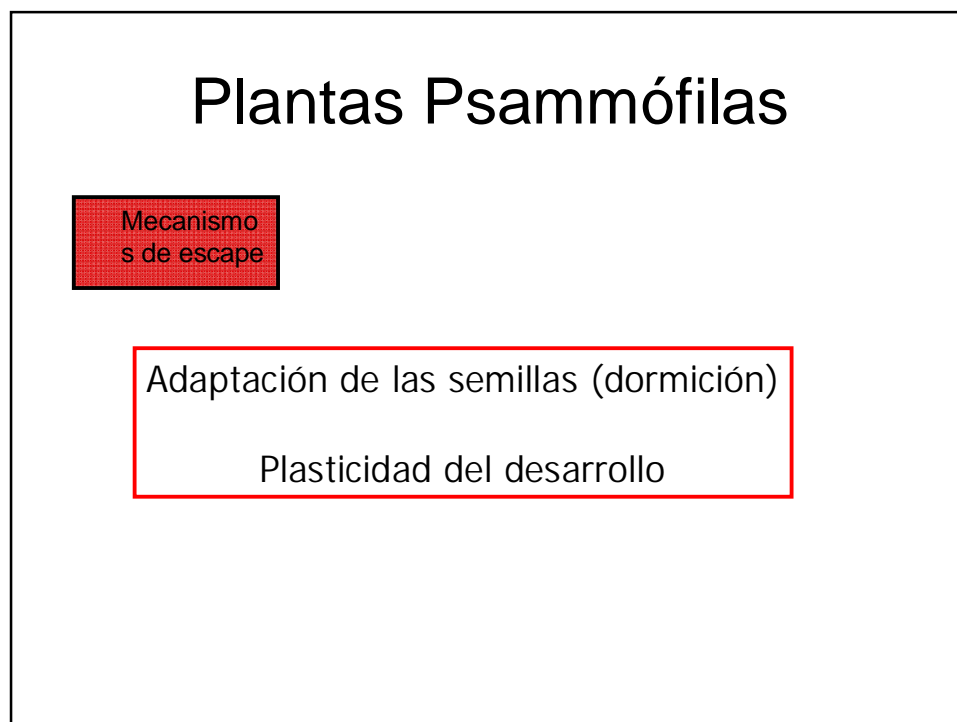
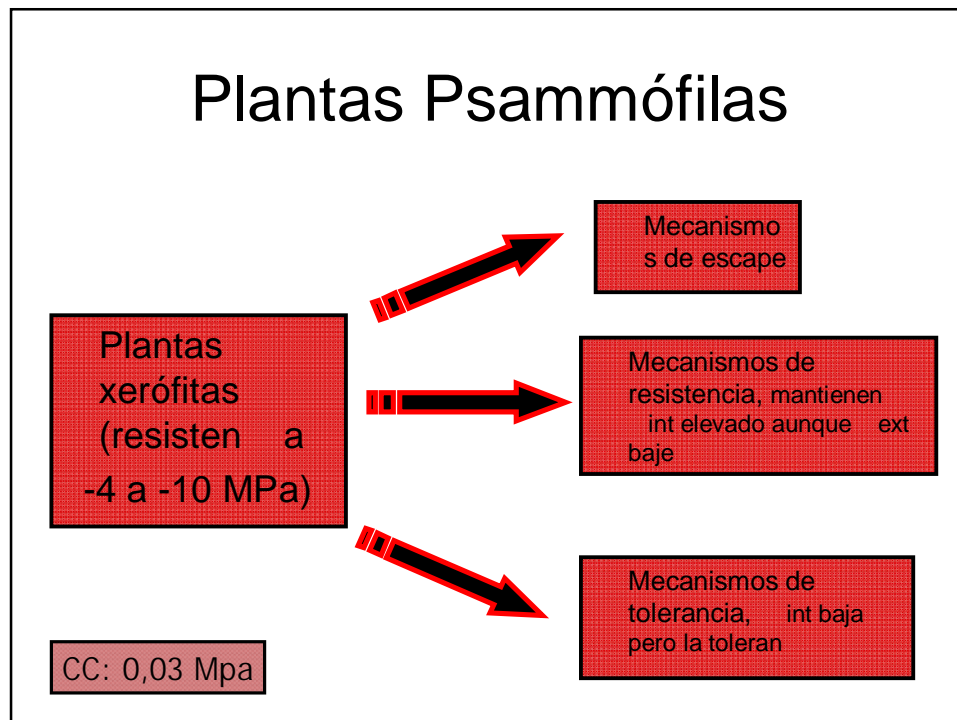
- Drenaje excesivo, con tendencia a la aridez, que resulta en un pobre almacenaje de agua

Soil texture:	Sand	Silt	Clay
Size [mm]:	0.05 - 2	0.002 - 0.05	< 0.002
			
Macropores	+++	++	(+)
Medium-sized p.	++	++	++
Micro pores	(+)	++	+++
Percolation:			
Leaching:			

Plantas Psammófilas

Condiciones que crea un alto porcentaje de arena:

- Dotación de nutrientes orgánicos pobre, debido a la escasa producción y acumulación de material orgánico
- Aireación excesiva, debido a un elevado nivel de macroporos ($>9\mu\text{m}$), que deriva en un ambiente altamente oxidativo, y sus consecuencias sobre los elementos que forman el suelo



Plantas Psammófilas

Mecanismos de
resistencia, mantienen
int elevado aunque ext
baje

Mantienen la absorción de agua

Reducen la pérdida de agua

Plantas Psammófilas

Mecanismos de
tolerancia, int baja
pero la toleran

Mantienen la turgencia

Pierden turgencia pero cuando aumenta la
humedad vuelven a conseguir la turgencia

Plantas Psammófilas Adaptaciones

- Semillas de gran tamaño
 - Adaptación a acumulación de arenas móviles sobre la semilla
 - Permiten una elevada capacidad de emergencia (longitud del epicótilo)
 - Elongación de la raíz primaria en busca de mejores condiciones hídricas

Plantas Psammófilas Adaptaciones

Tamaño de semilla

Table 3. Seed weight and length of seven perennial from the western Sonoran Desert

Species	Weight (mg)	Length (mm)*
PSAMMOPHILES		
<i>Artemisia tridentata</i>	15.0	4.7 (0.07)
<i>Helianthus scaberrimus</i> subsp. <i>repens</i>	7.0	5.8 (0.08)
<i>Polypogon monspeliensis</i>	6.0	15.7 (0.38)
NONPSAMMOPHILES		
<i>Cercaria microphylla</i>	148.3	9.0 (0.11)
<i>Prosopis juliflora</i>	6.7	10.3 (0.17)
<i>Helianthus scaberrimus</i> subsp. <i>scaberrimus</i>	3.0	4.2 (0.07)
<i>Polypogon monspeliensis</i>	3.0	10.9 (0.15)

*SE in parentheses.

Bowers J.E. 1996. J. of Arid Environments 33: 63-72

Plantas Psammófilas Adaptaciones

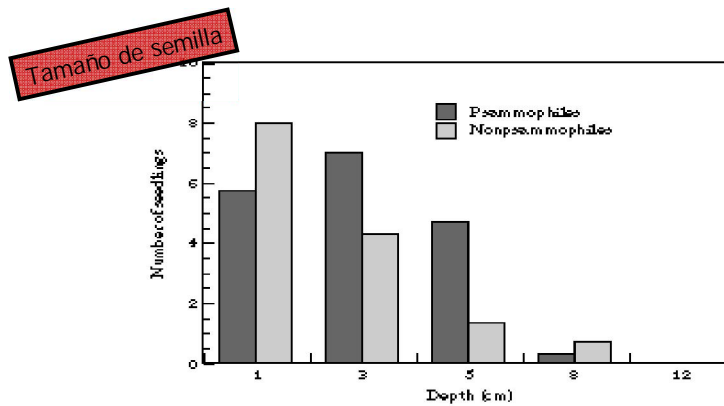


Figure 2(b). Average total seedling emergence of three psammophiles (*Astragalus nagebiensis* var. *pauciflorus*, *Psathyria arida* var. *gigantea*, *Heterotheca rubra* ssp. *triflorata*) and three nonpsammophiles (*Psathyria arida* var. *arida*, *Fragaria splendens*, *Cercidione microphyllum*) at five depths. Values represent average of two replicates.

Bowers J.E. 1996. J. of Arid Environments 33: 63-72

Plantas Psammófilas Adaptaciones

- Las semillas germinan en respuesta a menor intensidad de precipitaciones
 - Por sus características bioquímicas se embeben mas fácilmente
 - Están adaptadas a altos contenidos de arena, donde prácticamente toda el agua que retiene está disponible para las plantas

Plantas Psammófilas Ejemplos



- *Prosopis flexuosa*. Vive en zonas del NE Mendoza con lluvias insuficientes (161 mm) pero disponen de una reserva hídrica subterránea al alcance de sus raíces. En este caso es **freatófito** obligada y su supervivencia depende del movimiento de la capa freática (González Loyarte et al., 2000). El xilema está muy desarrollado, tiene **vasos de gran diámetro** que permiten la circulación rápida del agua.



Plantas Psammófilas Ejemplos

- *Senecio bergii* Hieron. y *S. quequensis* Cabrera han sido citadas como dos especies psammófilas afines, endémicas de la región costera de Argentina (Cabrera, 1963)



Plantas Psammófilas Ejemplos

En general, las plantas costeras han desarrollado unas adaptaciones que les permiten vivir en medios arenosos y secos como la presencia de largas raíces, hojas gruesas y carnosas, tejidos de reserva de agua y menor transpiración.



euforbia de las arenas (*Euphorbia paralias*)

Plantas Psammófilas Ejemplos



cardo marítimo (*Eryngium maritimum*)



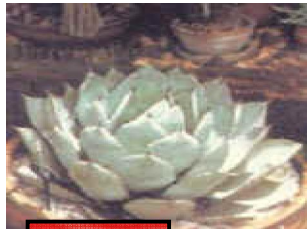
soldanella (*Calystegia soldanella*)



crucianella marítima L.

Plantas Psammófilas

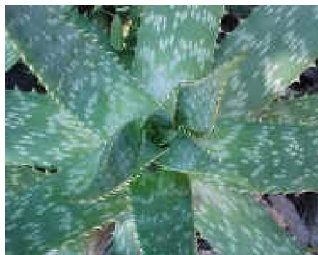
Ejemplos de hojas succulentas



Crassula



Agave



Aloe

Plantas Psammófilas

Ejemplos de tallos succulentos

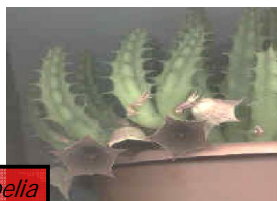


Cladodios en *Opuntia*

Tallos esféricos y plegados en *Echinopsis*



Cactáceas



Asclepiadaceae: *Stapelia*

Salinidad del suelo

- Determinado por la abundancia de sales solubles en los suelos
- Suelos salinos son propios de suelos jóvenes, áridos, o de suelos de zonas deprimidas que reciben sales desde las partes superiores, o zonas costeras
- Se estima a través de la Conductividad Eléctrica (mmhos/cm o dS/m), desde el punto de vista agrícola se considera un suelo como salino si su CE es = ó superior a 2dS/m.

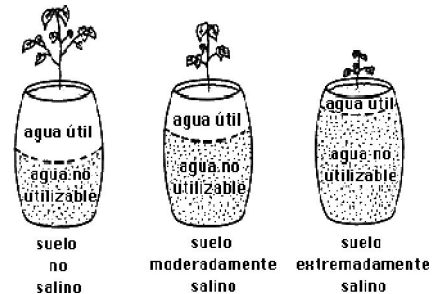
Sales del suelo

Solubilidad máxima			
Sal	CE, dS/m	gr/l	meq/l
MgSO ₄	363	262	4.352
Na ₂ SO ₄	504	430	6.064
NaCl	453	318	5.440
MgCl ₂	618	353	7.413
NaCO ₃ H	272	137	3.261

La solubilidad de las sales es un parámetro evaluador de su toxicidad

Salinidad del suelo

- El efecto sobre las plantas también es la baja disponibilidad de agua, debido a que aumenta la retención del agua disponible, a través de un mayor potencial osmótico : EFECTO OSMOTICO
- Las plantas adaptadas a sobrevivir en suelos que sufren este efecto presentan principalmente los mecanismos de resistencia y tolerancia a condiciones xerofíticas



Salinidad del suelo

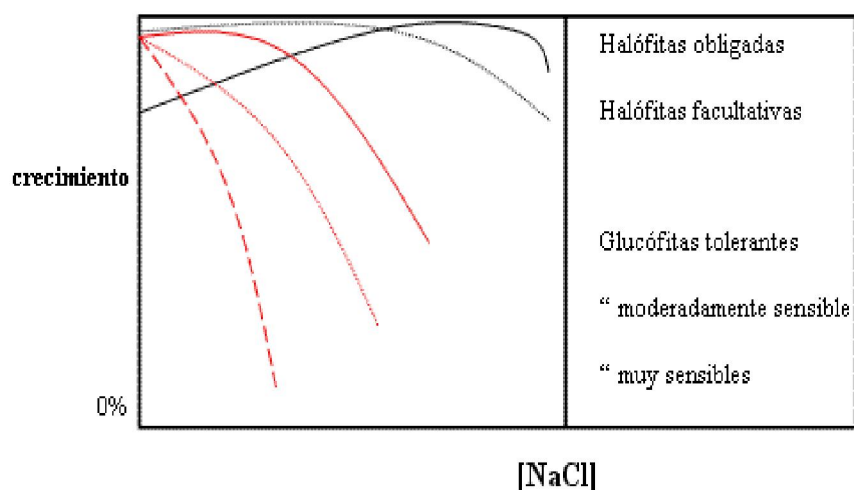
- El otro efecto (iónico) es propio de suelos ricos en sales de sodio (suelos sódicos o alcalinos). Este efecto tóxico provoca la disminución de la razón Potasio (K^+)/ Sodio (Na^+) a nivel celular.
- La disminución en el contenido de iones K^+ en el citoplasma trae como consecuencia una desestabilización en el potencial de membrana, la inactivación de enzimas y un efecto perjudicial sobre una serie de procesos fisiológicos
- Muchas veces estos suelos presentan dispersión de la estructura, condiciones de drenaje y aireación deficientes, además de pH's elevados

Salinidad del suelo

Adaptaciones al efecto iónico

- Se refiere en general al NaCl pero hay otros cationes capaces de volverse tóxicos a concentraciones menores (Fe^{2+} , Mn^{2+} , Zn^{2+})
- Acumulación de cloruro de sodio dentro de la vacuola
- Resistencia a la entrada de cloruro de sodio a la célula
- Dilución de cloruro de sodio después de su entrada a la planta.
- Acumulación en las plantas halófitas de dos sustancias nitrogenadas: prolina y glicinobetaína y de sulfolípidos (protección del sistema fotosintético)
- Presencia de glándulas excretoras

Plantas halófilas



Salinidad del suelo Plantas halófilas

- Los ejemplos más difundidos de plantas adaptadas a condiciones de alta salinidad son:
 - *Salicornia spp.*

Salicornia europaea
Halófito de tallo succulento



Distichlis spicata (L.) Greene

- *Distichlis spicata* crece fácilmente bajo un amplio rango de niveles de salinidad (CE hasta 50 dS·m⁻¹)
- Esta especie no acumula sal en sus tejidos sino que evita su ingreso, mantiene la "homeostasis iónica celular"
- Debido a esto, es una especie objetivo para planes de mejoramiento de plantas glicófitas con respecto a su halotolerancia



Atriplex spp

- Familia : Quenopodiáceas
- Disponen de glándulas especiales para la eliminación de sal, por ello durante el día se presentan cubiertos de un polvo gris formado por cristales de sal; por la noche dan impresión de verdor y de estar cubiertos de rocío porque la sal en su superficie incorpora vapor de agua atmosférico



Atriplex nuttallii (saltbush)



Atriplex spp

- *Atriplex canescens*, (Pursh) Nutt. CE max 59 dS/m. para equinos, Verano. Cultivo.
- *Atriplex cinerea*. Grey salt bush. Tolera un poco los suelos inundados. Australia.
- *Atriplex confertifolia* (Torr & Frem) Watson. C4 CE máxima 56 dS/m. Hierba.
- *Atriplex cordobensis*.
- *Atriplex corrugata*, S. Watson. Mal salt busch. C4 hierba.
- *Atriplex cuneata*, A. Nelson. C4 hierba.
- *Atriplex glauca*, L. C4 CE máxima 56 dS/m.
- *Atriplex halimus*, L. C4 CE máxima 56 dS/m. Shrubby salt bush.
- *Atriplex hymenelytra*, (Torr) S. Watson. C4. Arbusto. CE máxima 8 dS/m
- *Atriplex lentiformis*, (Torr) S. Watson. Quail bush. C4 CE máxima 56dS/m En suelo alcalino y CE máxima 38 dS/m en suelo pesado.
- *Atriplex mulleri*, Benth. C4. CE máxima 38 dS/m en lugares subtropicales con suelos medios a pesados.
- *Atriplex nummularia*, Lindl. Oldman. C4 CE máxima 59 dS/m. No tolera encharcamiento. Australia. Invierno. Forrajera.
- *Atriplex nuttalli*, S. Watson. C4 CE máxima 56 dS/m.

Salinidad del suelo Plantas halófilas

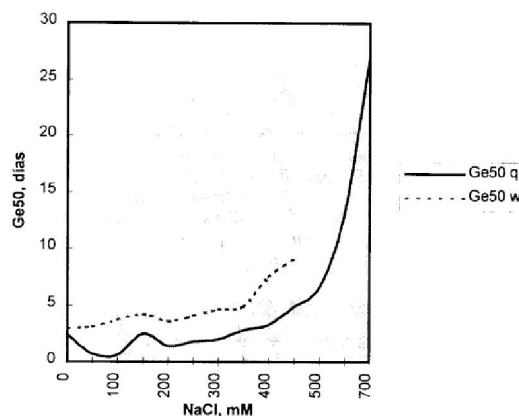
- Nuevos ecosistemas se han formado a partir de partes secadas sobre el fondo del Mar Aral, donde plantas pioneras son las **hyperhalófitas** anuales: *Atriplex fominii*, *Salicornia europaea*, *Suaeda arcuata*

Halostachys + *Halocnemum* en la
costa este del Mar Aral



Salinidad del suelo Plantas halófilas

- La quinoa, *Chenopodium quinoa* Willd., es otra especie considerada tolerante a la salinidad



Tiempo necesario para alcanzar el 50% de germinación final (Ge50) de la quinoa (q) y el trigo (w) (Jacobsen y Col., 1998)

Salinidad del suelo

Plantas cultivadas halófilas

- *Beta vulgaris*, Chenopodiaceae, Acelga, Remolacha:
Tolerancia moderada (~5 g/l TDS) [Ayers and Wescott, 1989](#)
- *Phoenix dactylifera*, Arecacea, Palma datilera:
Tolerancia moderada (~5 g/l TDS) [Ayers and Wescott, 1989](#)
- *Hordeum vulgaris*, Poaceae, Cebada:
Tolerancia moderada (~5 g/l TDS, CE: 8 dS.m⁻¹) [Ayers and Wescott, 1989](#), [Fricke et al., 1996](#)

Plantas halófilas

Género *Agropyron*

- *Agropyron acutum*, (DC) Roem & Schultes,
Metabolismo C3, CE.
- *Agropyron pycnanthum*, (Godr.) Gren &
Godr. Metabolismo C3 CE máxima 34
dS.m⁻¹
- *Agropyron pungens*, (Pers.) Roem &
Schultes. Metabolismo C3
- *Agropyrum cristatum*, (L) Gaertn.
Metabolismo C3, de Invierno, origen de
Rusia. CE Máxima 7.5 34 dS.m⁻¹



Agropyrum cristatum

Plantas halófilas

- *Cynodon dactylon*, (L.) Pers.
Bermuda, Gramón.
Metabolismo C4 Perenne. CE
máxima 6,9 dS.m⁻¹
- *Chloris gayana*, Kunth. Grama
Rhodes Metabolismo C4,
Crece en verano. Perenne. CE
máxima 8 dS.m⁻¹.



Condiciones de pH

- El valor de pH refleja la reacción del suelo en cuanto a su acidez o alcalinidad, y depende de la actividad del ion H⁺ en la solución del suelo
- Se considera un pH ácido si es menor a 5,5 y un pH básico por encima de 7, los suelos con pH contenido en el resto del margen no tienen problemas (5,5 – 7).
- La mayoría de las especies vegetales y microbianas están adaptadas preferentemente a condiciones de neutralidad o pH's ligeramente ácidos o alcalinos

Condiciones de pH

Plantas adaptadas a condiciones de acidez

- Condiciones de acidez intensas ($\text{pH} < 5,5$) generan ambientes desfavorables para el crecimiento tanto de raíces como de la población microbiana
- Una de las principales causas de esta acidez es la presencia de Al^{3+} soluble, catión altamente tóxico
- Las especies vegetales adaptadas a crecer y desarrollarse en suelos ácidos son denominadas ACIDOFILAS, CALCIFUGAS o SILICICOLAS debido a que el dióxido de silicio, el cuarzo, es carente absoluto de bases, a diferencia del resto de los constituyentes del suelo

Plantas acidófilas

- Resistentes a determinados factores de los suelos ácidos, que son perjudiciales para otras plantas y/o son plantas que son estimuladas por determinados factores de suelos ácidos (facultativas) y/o que son perjudiciales por determinados factores de suelos neutros ó básicos (obligadas).

Plantas acidófilas

- A pH mayor a 5,5 hay Al en forma insoluble y, por eso, no afecta a la planta, pero cuando el pH es menor a 5 el Al se hace más soluble: TOXICIDAD
- La $[H^+]$ no llega a ser tóxica para las plantas a no ser que el pH del suelo caiga en valores por debajo de 4.
- Otros efectos:
 - Toxicidad Mn.
 - Déficit de P.
 - Déficit Ca y Mg.
 - Incremento en la movilidad de metales pesados

Mecanismos de adaptación de las plantas acidófilas al Al

- Aumentar el pH en el suelo rizosférico y el Al precipitará y no podrá así penetrar en la célula
- Algunas plantas resistentes al Al tienen más cantidad de mucílagos con cargas negativas en las raíces que las sensibles, que secuestran iones de Al .
- La presencia de Al alrededor de la raíz provoca la exudación también de materia orgánica por la punta de la raíz : citrato y malato, que forman complejos con el Al y en esta forma el Al apenas es tóxico
- Planta del te que acumula el Al en las hojas pero está “secuestrado” por el malato, malatos de Al que son excretados hacia el floema

Otras adaptaciones de las plantas acidófilas

- Alta eficiencia en la captación del P y cationes como el Ca, Mg, K, etc.
- Alta eficiencia en el uso del P, aumentando la relación de materia seca formada/unidad de P presente en la planta.

Plantas acidófilas

- *Deschampsia flexuosa* sobrevive en suelos muy ácidos, es un bioindicador claro



Plantas acidófilas

- Muchas plantas ornamentales: Gardenia, Hortensia, Camelia, Azalea, Rododendro, Brezo (*Erica vagans*, *Erica cinerea*, *Erica arborea*)



Principal inconveniente en
suelos neutro-alcalinos:
Clorosis férrica

Plantas acidófilas



Ericáceas, del género *Vaccinium*,
Arándanos negros o americanos: (*V. corymbosum* L.). Arándanos rojos o
agrios: (*V. oxycoccus* L.).



Condiciones de pH

Plantas adaptadas a condiciones de alcalinidad ligera

- Cuando la solución del suelo tiene muy altos porcentajes de Calcio, el pH suele ser mayor a 6,6 y menor a 8
- Consecuencias: Déficit de Fe, Zn, P (y Mn).

Mecanismos para movilizar Fe^{3+} (insoluble) en suelos alcalinos

Estrategia I, dicotiledóneas

- Liberar H^+ al medio, disminuyendo el pH y aumentando solubilidad del Fe, afectada por el bicarbonato que tampona el pH del suelo con valores por encima de 7
- Secreción de fenoles y ácidos orgánicos, ambas sustancias forman complejos con el Fe, lo mantienen en solución e incrementan su disponibilidad

Mecanismos para movilizar Fe^{3+} (insoluble) en suelos alcalinos

Estrategia II, monocotiledóneas

- Exudación de unas sustancias que forman complejos con Fe^{3+} llamadas fitosideróforos y que son absorbidas por la planta
- Fitosideróforos son aminoácidos no proteinógenos

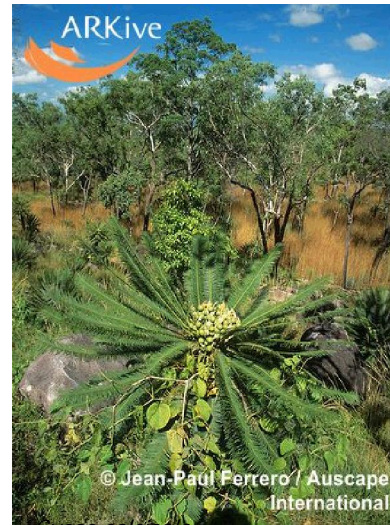
Plantas calcícolas

- Plantas que se desarrollan exitosamente en suelos ricos en CaCO_3 .
- En general tienen cantidades sustanciales de Ca hidrosoluble, la cantidad de Ca puede superar el 7% de su peso seco

Plantas calicícolas Ejemplos



Salix calicicola var. *nicholsoniana* Polunin



Cycas calicicola

Plantas calicícolas Ejemplos



Lavanda

Condiciones de pH

Plantas adaptadas a condiciones de alcalinidad sódica

- Cuando la solución del suelo tiene altos porcentajes de sodio, el pH suele ser mayor a 8,5
- La especie *Distichlis spp.* es la más conocida como indicadora de suelos salino-sódicos
- *Leontodon hispidus* es una especie basófila que en suelos con pH menor a 8 desaparece ya que es muy sensible al Al.



Limitaciones de los suelos sódicos

- Suelos con pH entre 8 – 9:
 - a. Toxicidad Na y B.
 - b. Deficiencia Zn, Fe, P
 - c. Pobre aireación.
 - d. Impedimentos mecánicos.

Distichlis spicata (L.) Greene

Pastizal de *Distichlis spicata* en área
baja salina de la llanura aluvial.

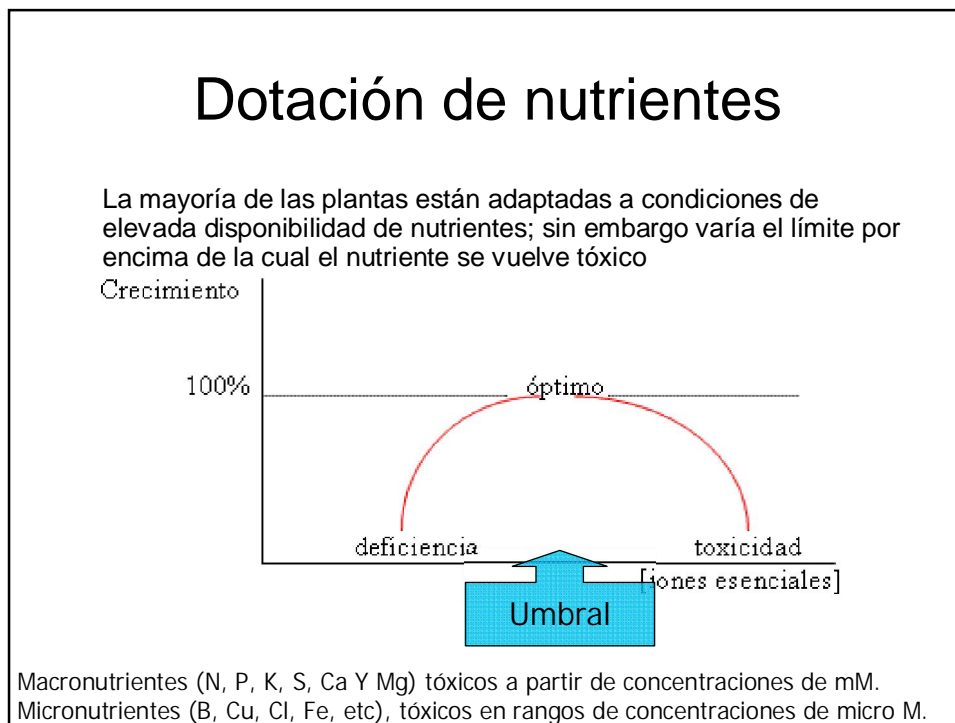


Pelo de Chanco (Argentina)
Saltgrass (USA)

Plantas halófilas-adaptadas a alcalinidad

- *Lotus corniculatus tenuifolius*,
L. Pata de pájaro, Lotus.
Metabolismo C3 900. Invierno.
Perenne. CE máxima 5 dS.m⁻¹
- *Lotus corniculatus arvensis*.
Hoja ancha. CE máxima 10
dS/m.
- *Lotus creticus*. C3. CE máxima
10 dS/m.





Dotación de nutrientes

- El caso más estudiado es la presencia elevada de nitrógeno mineral (Nitratos + Amonio)
- El nitrógeno es el elemento que presenta más respuesta, de modo que los suelos son generalmente deficientes

Dotación de nutrientes

- Los efectos tóxicos del exceso de N mineral:
 - Efecto salino
 - Toxicidad por amoníaco



Dotación de nutrientes

Las plantas adaptadas a altos niveles de nitrógeno mineral son denominadas NITROFILAS



Berza marina (*Brassica oleracea* var. *oleracea*)

Otras especies asociadas a las deyecciones de las aves: *Lavatera mauritanica*, *Chenopodium murale* y *Mesembryanthemum crystallinum*

Plantas nitrófilas

Cardos, plantagos y malvas : son pioneras en zonas de alta acumulación de amoníaco y fosfatos procedentes de las deyecciones animales en campos ganaderos



Milva ybstrak
Sentencia Photo CD



Cirsium vulgare



Plantago lanceolata

Plantas nitrófilas

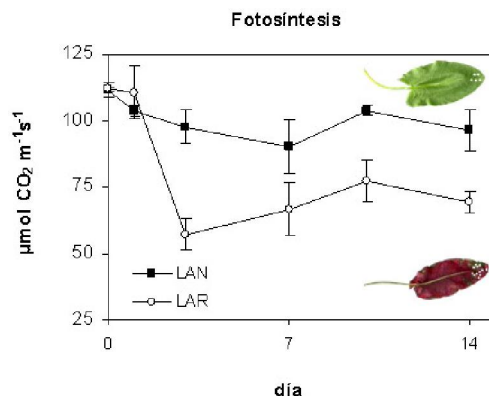
- **Ruderal.-** vegetación ruderal aquella que se localiza en suelos con elevada proporción de nitrógeno, y son las plantas llamadas nitrófilas, que crecen en zonas urbanas, como calles, tapias en los tejados, en las ruinas y amontonamiento de minerales.



Iones no esenciales: Plantas Metalófilas

- Suelen observarse en suelos cercanos a minas
- Consta de 2 mecanismos principales:
 - Disminución en la absorción de la planta
 - Precipitación del ión
 - Transformación a formas menos tóxicas
 - Desintoxicación del ión una vez absorbido
 - Almacenamiento en raíz
 - Ubicación en las vacuolas
 - Complejización con ácidos orgánicos y *fitoquelatinas*

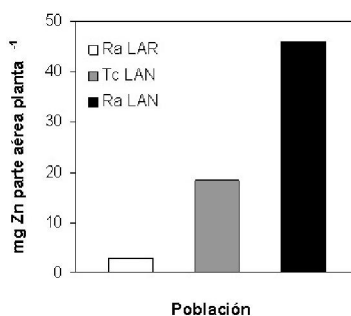
Plantas Metalófilas



Efecto de la contaminación por metales (Pb, Zn y Cd) en % respecto al control, sobre la fotosíntesis neta de dos poblaciones de *Rumex acetosa* procedentes de un entorno minero (LAN) y de un entorno no contaminado (LAR). Se muestran las medias \pm errores estándar. (Becerril y Col., 2007)

Plantas Metalófilas

- Un ejemplo interesante son las hiperacumuladoras de metales :
Fitoremediación



Tasa de fitoextracción de Zn de dos poblaciones de *R. acetosa* creciendo durante 5 meses y de *T. caerulea* durante 4 meses en un suelo minero contaminado. (Becerril y Col., 2007)

Plantas Metalófilas

Rumex acetosa



Plantas Metalófilas



Festuca rubra

Bioindicadores edáficos de la CALIDAD del suelo

Bioindicadores edáficos de la condición general del suelo

Principal objetivo: que sean indicadores tempranos de daño antes que indicadores de diagnóstico:

“La alta velocidad con la que se están degradando nuestros suelos por erosión, salinización, contaminación y otros procesos es la razón más estimulante para desarrollar bioindicadores tempranos de deterioro”
(Lobry de Bruyn, 1999)

Concepto de Calidad de suelo

- Ligado al concepto de “salud”
- “La capacidad de un suelo para sustentar la actividad biológica, mantener la calidad ambiental y promover la salud de plantas y animales” (Doran y Parkin, 1994)
- Salud de un ecosistema: “Biodiversidad + Funcionamiento de los patrones normales de flujo de energía”

Calidad de Suelo

Existen muchos métodos para monitorear y evaluar la calidad del aire y del agua, pero ningún único método ha sido aceptado para la evaluación de la calidad del suelo debido en gran parte, a la gran **complejidad y variabilidad** que presenta el sistema edáfico

Calidad del Suelo

- La calidad de los suelos puede ser evaluada a través del estudio de la **sustentabilidad y biodiversidad** del suelo.

Sustentabilidad y Biodiversidad

- **Sustentabilidad:** Característica del desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer la posibilidad de las futuras generaciones de satisfacer sus propias necesidades (Legg, 1999)
- **Biodiversidad:** Comprendida por la riqueza y la abundancia relativa de las distintas especies que integran un ecosistema

Indicadores de Calidad de Suelo

- Las propiedades críticas a medir deben ser sensibles a cambios en el manejo, a perturbaciones y a los *inputs* dentro del sistema edáfico.
- A su vez es necesario que cada una de estas propiedades sea de fácil medición y reproducible. (Gregorich, 1994)

Bioindicadores (de nuevo!)

“ Organismos (y hasta restos de los mismos) que colaboran en el entendimiento de fenómenos o acontecimientos relacionados con el estudio de un ambiente ”

Materia Orgánica

- Comprende un grupo de sustancias que provienen de la descomposición, mineralización y resíntesis de desechos orgánicos
- Es por excelencia el indicador de calidad de suelo : Impacta sensiblemente en el “Funcionamiento” del ecosistema suelo
- El estudio de la materia orgánica es un paso fundamental para la identificación de la calidad global del suelo, y es tan informativa que debería ser incluida universalmente en un mínimo *juego* de datos para evaluar la calidad de un suelo.

Fracciones de la Materia Orgánica

- Pueden identificarse un número de *pools* con diferentes roles funcionales, que se diferencian por su actividad y labilidad
- Estas fracciones han sido conceptualizadas en modelos matemáticos como partes cinéticamente definidas con diferentes tasas de *turnover*
- Carbono orgánico particulado ($>53\mu\text{m}$) (Cambardella y Elliot, 1992)
- Carbono liviano ($<1,4 \text{ g.cm}^{-3}$) (Greenland y Ford, 1964)
- C-biomasa microbiana (Vance et al, 1987)

Bioindicadores de calidad y biodiversidad

- La comunidad microbiana tiene un papel principal en la **descomposición** y en los procesos de **detoxificación** del suelo y en el **ciclado de nutrientes**
- La **biodiversidad microbiana** sería un muy interesante indicador de calidad y uso de suelos
- Los indicadores de calidad de suelo no siempre incluyen el componente biológico, a pesar de que el mismo es altamente sensible y puede servir como un indicador temprano

Biodiversidad microbiana

- Concepto de especie : Se forma cuando una unión asexual evoluciona en un nuevo nicho ecológico (Cohan, 2002), sería un ECOTIPO
- Porque tantas especies ($10.000 \cdot g^{-1}$ de suelo):
 - Requiere solo divergencia ecológica, no reproductiva
 - La alta población hace más comunes eventos de mutación/recombinación
 - La recombinación puede ocurrir entre un rango más amplio de organismos (hasta 25% de disimilaridad entre ADN's)
 - La extinción es difícil (estados de latencia / supervivencia)

Problemas para la medición de la biodiversidad microbiana

- Cual es la unidad de estudio apropiada? (Concepto de especie?)
- “Hiperdiversidad” de la mayoría de las muestras impiden el catálogo completo de “especies”
 - Riqueza: Puede ser sólo estimada
 - Abundancia relativa: No puede ser definida
- Limitaciones metodológicas para caracterizar aún a los tipos dominantes
 - Tamaño pequeño y similitud morfológica
 - El aislamiento de individuos se limita a un pequeño porcentaje (0,1-10%)

Especies microbianas como bioindicadoras?

- “El subconocimiento de la taxonomía amenaza la idea de *bio-indicación*”(Koehler, 1999)
- La biología, ecología, y consecuentemente las propiedades como indicador, están relacionadas estrictamente a la especie
- La correcta determinación de la especie es un requisito absoluto

Especies microbianas como bioindicadoras?

- Una alternativa es medir parámetros derivados que se asumen relacionados a ciertos “grupos funcionales”, por ej.: Tasa de un proceso
- Principal inconveniente: Degeneración (o redundancia) de funciones
- Se propone utilizar “keystone species”
 - Ej.: Nitrificación del amonio

Muchas Gracias!!!

